

女子ハンドボール選手のオーバー・ハンドスローの分析

石井喜八*・藤原 侑**・川村宜幸**・上嶋美佐子**

(平成元年 5 月 15 日受付, 平成元年 7 月 7 日受理)

Three dimensional Analysis of Overhand Throw in Female Hand Ball Player

Kihachi ISHII, Susumu FUJIWARA, Yoshiyuki KAWAMURA
and Misako UWAJIMA

The purpose of the present study was to compare the overhand throw technique between skilled and unskilled subjects by means of the three dimensional cinematography. The results were summarized as follows:

1. Ball velocities obtained by means of the two dimensional cinematography approximately agreed with those obtained by means of the three dimensional cinematography.

2. In term of the trunk twist, the rotational axis of the skilled subjects existed about the long axis of the supported leg, while the unskilled subjects rotated about the shoulder of counter side to the swing arm. The rotational angular displacement of the hip during a throwing movement was significantly greater in the skilled subjects (91 degrees) than in the unskilled subjects (65 degrees)

3. In order to increase the velocity of the finger tip of swing arm during a throwing movement, it is necessary a) to instantaneously stretch the muscle immediately before the following contraction with utilizing the elastic energy inherent to the muscle used, b) to increase the velocity of each segment of the distal end, and c) to make summation of the velocity of each linked segment which cause the rotational movement.

4. In the skilled subjects, each linked segment greatly contributed to increase the ball velocity at the release in order of forearm, finger, palm and shoulder.

5. On the other hand, in unskilled subject, only shoulder muscles were recruited to rotate the upper arm throughout the throwing movement. Otherwise, in the skilled subjects, translational movement of hip, the rotational movement of the forearm and wrist were greater than those in the unskilled subject.

ハンドボール投げの研究は正木ら¹⁴⁾に始まったといえる。彼らは筋電図法により、投球動作時に体幹から腕の末端へと放電順序が移行していくことを指摘した。アメリカのAtwater, A. E.^{1,3)}は野球のボール投げの動作について3次元分析を行い、2次元分析による誤差を比較し、また、指先の速度を増大させる身体各分節の貢献度を論じた。

わが国における投動作の分析はハンドボールや野球のボールの場合という競技別ではなく、日本人が握れるボールと握れないボールという大きさの区分によって進め

られてきた^{8),9),12),14),15),19)20),22)-25)}。握れない大きさのボールの代表として、体力テストの一種目として用いられるハンドボール投げの手から離れるときのパワー⁸⁾や身体各身体分節の貢献度⁹⁾が調べられる一方、握れるボールによって投げの方向や開閉眼による正確さの差異からeye-hand coordinationやfeed back機構に目を向けられている^{22),24)}。

しかし、3次元分析を行った研究は全くみられない。すべて、動作・運動が一平面で行われると仮定した2次元分析だけである。われわれは女子ハンドボール選手を

* 体育研究所, ** 健康学

対象として、体力テストの1種目として用いられるハンドボール（女子用：重さ 325~400 g, 外周 54~56 cm）の投動作の3次元分析を行い、熟練者と未熟練者を比較検討することを目的とした。

方 法

分析の対象となった投動作はオーバーハンドスロー（overhand throw）である。この動作はボールを backward motion から forward motion に導き、利腕の反対足を1歩踏み出し、その脚を軸に捻転し頭部近くを導いて指先から投射（release）するというものである。使用したボールは重さが 360 g であり、外周囲が 55 cm であった。

3次元分析のために2台の16mm高速度カメラ（NAC photo-SONIC 1-PL）を用いた。その1台のカメラは投射方向の面に対して直角に、そして、被写体から 15.3 m 離れ、レンズ高を地上 100 cm として三脚台上に固定した。もう一つのカメラは床面から 15.3 m の高さに構え、被写体の真上に設置した。レンズの光軸は床面に対して直角を作るように構えてある。両カメラのレンズはともにズームレンズを用い、投動作がフィルム枠内にできるだけ大きく撮影できるよう拡大した。

両カメラ内のフィルムの側部に光シグナルが 100 Hz で入るようにしてフィルムの速度の校正を行い、また、2本のフィルムの映像を同期させるためにイベントマークを入れた。これはコントロールボックスで調節した。フィルム送り速度は両カメラとも 200 fps である。投動作の撮影場面の概略を図1に示した。

記録したフィルムは現像後、コンピューター付数値読取り装置（Computed digitizer; NAC Sportias GP-2000）によって、解剖学的モデルを各関節で連結する連

鎖系セグメントモデルに変換した。また、各関節の測定点の平面座標の読み取りを電気式カーソールによって行い、それぞれの座標点の測定値は付属コンピューターに記憶させていった。フィルム枠送りの時間間隔が既知であるために、必要に応じて、測定点の変位量、直線速度、あるいは、各関節の角速度を演算させ、表あるいは図に出力印字させた。

被検者は本学女子ハンドボール選手3名と一般女子学生4名であった。ハンドボール選手を熟練者とした。彼女らの技術水準はわが国大学選手のトップレベルである。一方、一般女子学生を未熟練者とした。

結果および考察

これまでの動作、運動に関する映画分析はハンドボール投げだけに限らずほとんどの動作・運動についても2次元分析が多かった¹⁰⁾。人体は各関節の屈曲・伸展運動の組合せによってなり立ち、したがって、回転運動や捻りの動作・運動も一平面内の位置の変化としてとらえられてきた。われわれはこの論文の中で3次元分析を試みる。そのために、ハンドボール投げの動作の側面図と上面図の記録をとり、それらから得た資料をもとに三角測量図法により立体空間内の動作・運動を導き出し、これまでの2次元法による分析値との比較を試みた。

この実験で対象とした投動作中に手で導かれる間のボールの位置の変化を間欠的にたどった。それが図2である。各ボールの間隔は記録されたフィルムの5枠おきであり、したがって、時間間隔は 25 m sec となっている。図中の左側は側面図（side view）であり、右側は上面図（top view）である。図中の人体の画像はボールが指先から離れるときの位置にあり、この時間が基準となっており、その瞬間の前後のボールの位置が示されている。

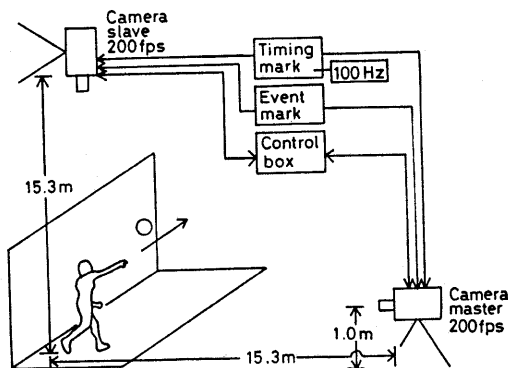


図1 実験場面の概要

Ball Path

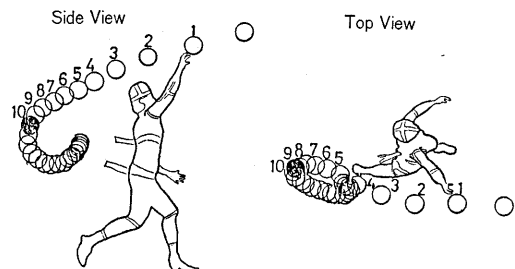


図2 Hand ball throwing の側面図（side view）と上面図（top view）

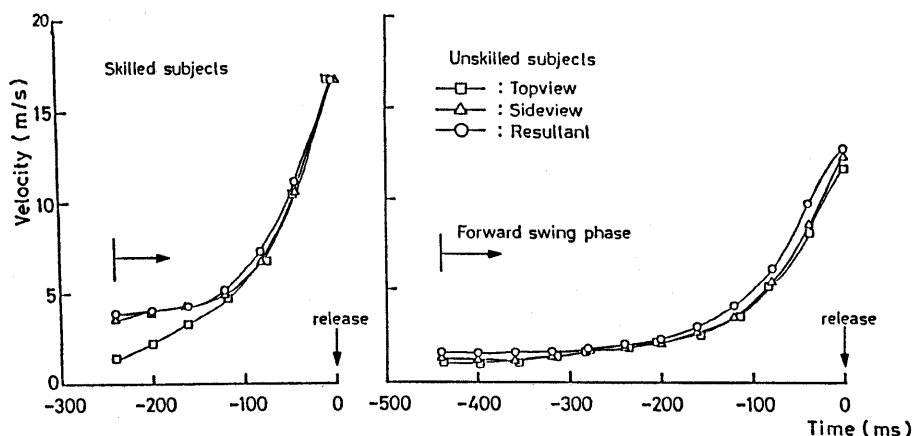


図3 各平面からとらえたボール誘導の速度変化

ボールが導かれる軌跡は、一度後方に導かれるが、それから前方へ移動していく。このときのボールの軌跡は Atwater¹⁾の野球の投動作に比較して、きわめて単純であり、直線的な移動を示している。ボールとボールの間隔は前方への移動に従いだいに大きくなっていく。上面図 (top view) をみると、後方へ導かれたボールはほとんど身体の真うしろの位置に導かれ、最後端に至って前進を始めるが体側を通過していく。ここには身体の捻転運動が含まれていることを示し、これまでのハンドボールのオーバーハンドスローではこの捻りの記録が初めて得られたということになる。

側面図と上面図のそれぞれと、それらのベクトル合成によって得た立体空間内のボール速度の経時の変化を比較するために図にまとめた。左側の図3は熟練者の平均値を示したものであり、右側の図は未熟練者らの平均値を示したものである。いずれの図も横軸は m sec 単位で示した時間軸であり、0 は指先からボールが離れた瞬間を表している。各測定値は release 時を基準に 250 m sec または 450 m sec 前までの範囲をあらわしている。

熟練者らの結果をまとめた左側の図では、側面図、上面図それと立体空間を移動したとする算出値を比較すると、上面図から求めたボールが導かれる速度は、release 時の 250 m sec 前では最低値を示すが、100 m sec 前になって、側面図および立体移動の算出値に一致してくる。それにしても、側面図および立体移動の算出値は release 前 250 m sec からほぼ近似した値と経過を示している。release 時のボール速度は 16.8 m/sec であった。

未熟練者らの平均値を示す右側の図では、forward

motion に約 450 m sec を要している。側面図、上面図および立体移動の算出値はほとんど近似した速度変化を示している。そして、release 前 250 m sec から急激な速度の上昇を示す。release 時のボール速度は 12.0 m/sec であった。

以上のことから、ハンドボールのオーバースローの速度変化の分析は、release 前の 100 m sec からは、これまでの2次元分析の結果も立体移動の算出値に近似しているといえそうである。

ハンドボールのオーバーハンドスローによる投動作における体幹の捻転運動は図2および図3からいって無視できそうにない。図2の図中の人体の映像には肩部および腰部から背部にヒレ状の棒 (Fin) が取り付けられていることがわかる。これらの Fin の角度変化とそれらとほぼ直角の相対的位置をとる両肩峰点を結んだ線および両腸骨稜を結んだ線を記録するために上面図を分析した。その結果が図4と図5である。

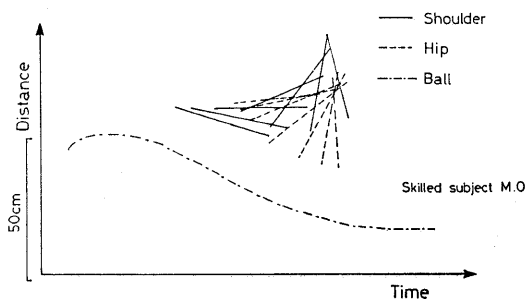


図4 両腰・両肩の捻転の位相のズレ (熟練者 M. O. の場合)。
両腸骨線 (破線) 内に回転軸がある。

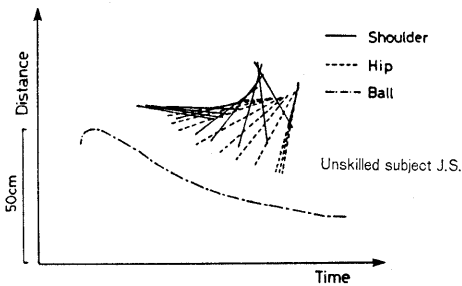


図5 両腰・両肩の捻転の位相のズレ（未熟練者 J. S. の場合）。
両肩（実線）の左側が回転軸になっている。

図4は熟練者の1人である M. O. 選手の結果である。一点破線はボールが導かれた軌跡であり、両肩峰点および両腸骨稜を結んだ線の一番左側の線は最後端に捻られた位置であり、一番右側に移動した線は release 時点の両肩峰点を結んだ線と両腸骨稜を結んだ線の位置を示している。各線の区間は同一単位時間をもって表している。

きわめて明らかな特徴は両腸骨稜を結んだ破線の上側が4本の線によって交叉の中心がみられることである。これはこの側の支持脚を軸にして捻転動作を起こしていると解することができる。それに対して、両肩峰点を結ぶ実線は上側に移動しながら各線の下端を右側の方へ移行している。

両肩峰点を結んだ線および両腸骨稜を結んだ線のいずれもが反時計回りの方向に回転していることがわかる。さらに、回転の軸は重心まわりではなく、図の上方に回転の中心があり、両腸骨稜を結んだ線ではそれぞれの線分内に、また、両肩峰点を結んだ線ではそれぞれの線分の外挿された位置に回転の中心がある。

一方、未熟練者の代表例として被検者 J. S. の結果を図5に示す。両腸骨稜を結んだ実線および、両肩峰点を結んだ破線の移動の過程は、それぞれの回転の軸の表出は肩部において各線分の内側に認められ、腰部においては各線分の外側に現れるという結果である。熟練者と未熟練者に現れたこれらの結果は共通に認められた。

これらの結果からいえることは、熟練者では腰部を支える一方の脚の長軸を腰部の回転軸とし、肩部の回転軸が外側にあったということは、ボールを導く側の肩および上肢の角速度の増大を図っている。また、未熟練者の腰部の捻り運動では回転軸が定まらず、肩部のみの捻り

運動となったことを示した。このことは下半身は安定さを欠き、上半身のみの安定を図ったのであろうと推測される。このため、上半身の前進運動を抑制してフォロースルーに不十分さが表れるのではないかと懸念される。これを確かめるために、両肩峰点を結んだ線が投射方向に対して直角になった時点から release されるところのこれらの線の回転角は、熟練者で 28° 、未熟練者で 14° と2分の1の数値でしかない。これによってもフォロースルーの不足が指摘できる。

そこで、肩部および腰部が投運動の主動作であるボールを前方へ導き出してから、release までの捻り運動に伴う回転角を調べてみた。熟練者3名の結果を平均値と標準偏差で示してみると、腰部が $91^\circ \pm 2^\circ$ 、肩部が $124^\circ \pm 3^\circ$ であり、未熟練者4名は腰部が $65^\circ \pm 3^\circ$ 、肩部が $123^\circ \pm 2^\circ$ であった。

ここにみられるように熟練者と未熟練者の肩部の回転角はきわめて近似した値を示したが、腰部の回転角では、未熟練者では熟練者のその約3分の2にとどまっている。このことは先に論議した、下半身の不安定さという機能的側面に加えてフォーム（形態学的側面）にも差異がみられることになった。この原因を考察してみると、図4と図5の例を比較してもわかるように、投動作としての予備動作、すなわち、バックワードモーションの最終段階で、熟練者にみられる腰部の捻りもどしの動作が小さいことにあると指摘することができる。

ボール投げの動作の目的は正確投げ、遠投またはスピード投げ、そして、球技の多くにみられる正確で、スピード投げと区別される。この研究で対象としている投げは日本人の体力テストの一種目としてのハンドボール投げに焦点を当てている。したがって、遠投またはスピード投げが対象となっている。この種のボール投げの動作の最終目的は指先の速度を増大させ、ボールにその速度

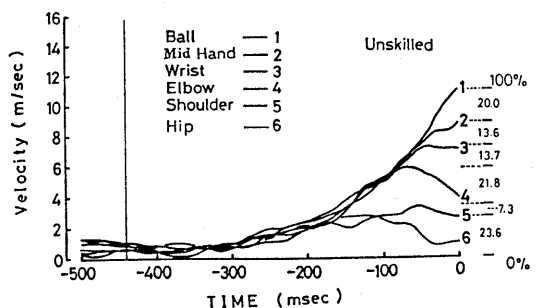


図6 各身体部位の速度の経時的変化（未熟練者の場合）

を伝えることになる。そこで、投げの主動作としてボールを前方へ導く過程の利腕側の各関節によって区分される分節 (body segments) の速度増加の過程を経時的に調べることになる。

図6は未熟練者がハンドボールのオーバーハンドスローを行ったときの大転子点、肩峰点、橈骨点、茎突点、中手指骨点、そして、ボールの速度の経時変化の1例を示したものである。図でみられるように、速度の増加は腰部6 (大転子点) から始まり、肩 (5) と肘 (4) は殆んど時期を同じくしているが、手首 (3)、中手指節点 (2)、ボール (1) へという順序性を示して指先の速度からもたせたとであろうボールの速度を加重 (summation of velocity) させている。

この速度の加重は関節をもって隣接する身体分節の受動的運動と能動的運動の組合せによって、地表を蹴る反作用力をもって身体が前進を始め、ある時間的遅延をもってしだいに上部の身体分節の速度を増大させていく。われわれは²⁾ 関節をつくる隣接する分節の下方の能動的運動によって上部の分節は受動的運動を伴い、その運動の末期に筋収縮による能動的運動が加わる。

この現象は筋収縮による加速化だけではなく、受動的に並進運動を行っている分節が関節の移動運動を停止させることにより回転運動 (関節の屈曲運動) を起こす。このことにより円弧の先端の速度は倍加すると考えている。

正木と石井 (1958)¹⁴⁾ は筋電図法によって、Terauds, J. (1978)²⁾, Jöris, H. J. J. ら (1985)²⁾ はフィルム分析から投動作に関わる各関節の屈曲の時点は時間的遅延が認められ、それはちょうどムチを振ったり、ロッド式に釣り糸を遠方へとばす現象に似ていると説明している。

また、関節を介して隣接する遠位の分節が受動的に動かされるとき、その関節をまたいでいる屈筋群は遠位の分節の動かされている速度とその分節質量のため伸張されている。この伸張期の筋活動の様式は筋電図ではとらえられても、この伸張期に引き続く収縮期との区別がつけにくい。また、フィルム分析によるとしても3次元的分析によってとらえる可能性が示唆される。

とすれば、投動作に関与する関節をまたいでいる屈筋群は短縮直前に伸張されることによって弾性エネルギーが貯えられ、この関節の屈曲時にこのエネルギーが利用できることが考えられる。投動作に関係する各関節ごとに反動動作が介入しているという経験に1歩近づくことができる。この現象はこの論文の中で論議した反動動作の総合的言い表しとして“撓める”あるいは“矯める”

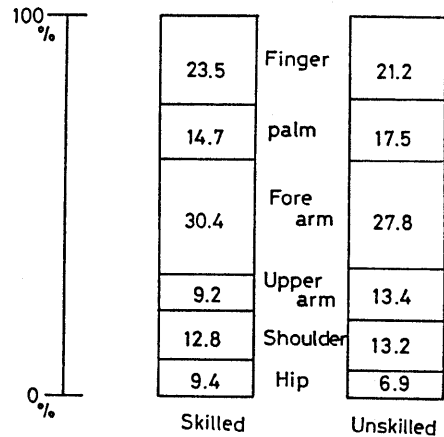


図7 各身体部位のハンドボール投げにおける貢献度の熟練者と未熟練者の比較

といっている現象に接近できるかもしれない。

図7はこの実験に参加した熟練者と未熟練者について各身体分節の貢献度を比較したものである。熟練者たちの release 速度は平均 16.8 m/sec であり、未熟練者たちのそれは 12.0 m/sec であった。それらを各 100% とし、それぞれに分節が発現した速度増大分の比率を求めた。

熟練者が未熟練者に比較して大きな数値を示した分節は腰部、前腕部そして中手骨の部位である。しかし、熟練者の上腕部の 9.2% を絶対速度に直すと 1.55 m/sec となり、未熟練者の同部位の 13.4% は 1.58 m/sec となる。これらから考えても、熟練者は上腕部はほぼ近似した速度を示すが、それ以外の部位での速度増加は未熟練者を上回っている。したがって、明らかに熟練者が大きな割合を示した部位の運動は速度増加のために強調してよい部位であると思われる。

ま と め

1. 高速度映画分析法を用いて女子ハンドボール選手のオーバーハンドスローの3次元解析を行ったところ、立体空間内変位および速度の経時変化は側面図からの2次元分析した値と近似した。

2. 上面図から両腸骨隆を結んだ線および両肩峰点を結んだ線の変位をみたところ、熟練者はバックワードモーション時の振り戻しの角度が大きく、また、フォースルーに対して肩部の移動範囲を大きくしていた。

また、体幹の捻り運動の回転軸は熟練者では腰部にあり、未熟練者は肩の部分にみられた。

3. ボールを投射する指先の速さの増大は地表に近い部位からの関節運動の発揮時期が少しずつ遅延することによって行われた。また、速度の加重に大きく貢献する部位は腰部, 前腕部, 中手骨の部位に現れた。

この研究は昭和 61 年度本学内奨励研究費が一部に当てられた。記して感謝の意を表したい。

文 献

- 1) Atwater, A. E.: Movement characteristics of the overarm throw: Kinematic analysis of men and women performers. (Doctoral dissertation, University of Wisconsin, 1970). Dissertation Abstracts International, 1971, 31, 5819 A. (University Microfilms No. 71-3448).
- 2) Atwater, A. E.: Cinematographic analysis of human movement. In J. H. Wilmore (Ed.), Exercise and Sports Science Reviews. 1: 217-246, (1973).
- 3) Atwater, A. E.: Biomechanics of overarm throwing movements and throwing injuries. In Robert S. Hutton and Doris I. Miller (Eds.), Exercise and Sports Science Reviews N. Y.: Academic press, 7: 43-85, (1979).
- 4) Cooper, J. M., and R. B. Glassow: Kinesiology (3rd Ed.) St Louis: The C. V. Mosby Co., (1972).
- 5) 潤本隆文, 伊藤 章, 金子公有: ソフトボールウインドミル投法における速度の決定要因. 第7回日本バイオメカニクス学会大会編集, pp. 118-122, (1984).
- 6) 藤田恒太郎: 生体観察 12 版. 南山堂 東京 (1976).
- 7) 福永哲夫: 実践コーチ教本 コーチのためのトレーニングの科学 3 版 p. 30, 大修館書店 東京, (1983).
- 8) 石井喜八, 山崎 武: 投球動作の分析—ハンドボール投げの場合—. 大阪体育大学紀要, 1: 23-29, (1969).
- 9) 石井喜八, 斉藤好史, 三浦孝仁, 小松敏彦: 投動作にみられる速度増大の要因. 第7回日本バイオメカニクス学会大会論集, pp. 109-113 (1984).
- 10) 石井喜八: 体育の領域における映像解析. 体育の科学, 39(6): pp. 436-441, (1989).
- 11) Joris, H. J. J., A. J. E. van Muyen, G. J. van Ingen Schenau and H. C. G.: Force, velocity and energy flow during the overarm in female handball players. *J. Biomechanics* 18(6): 409-414 (1985).
- 12) 風井諒恭, 熊本水頼, 岡本 勉, 山下謙智, 後藤幸弘, 丸山宣武: 野球の投動作 (オーバハンドスロー) における上肢上肢帯筋群の作用機序. 体育学研究, 21(3): 137-144, (1971).
- 13) Kunz, h.: Effect of ball mass and movement pattern on release velocity in throwing. In, R. C. Nelson and C. A. Morehouse (Eds.) Biomechanics IV: 163-168, University Park Press, Baltimore (1974).
- 14) 正木健雄, 石井喜八: ハンドボールの投球動作の分析. 体育学研究, 3, p. 33, (1958).
- 15) 森下はるみ, 猪飼道夫, 武田悦子: ハンドボール投球技能の分析—個人の学習による変容について—. 体育学研究, p. 10(1), 195, (1969).
- 16) 大道 等: 写真解析の読み取り誤差と微分演算—速度加速度算出の問題点—. *Jpn. J. Sport Sci.* 2(3): 182-199, (1983).
- 17) Robert, J. N., and B. D. Wilson: 3D kinematics and kinetics of golf swing. *Int. J. sport Biomechanics*, 1: 221-232, (1985).
- 18) Robert, J. G., W. C. Whiting, and R. W. McCoy: Kinematics analysis of olympic discus thrower. *Int. J. Sport Biomechanics*, 1: 131-138, (1985).
- 19) 斉藤好史, 天野勝弘, 鈴木正保, 石井喜八: 投動作における身体各部の貢献度. 第7回日本バイオメカニクス学会大会論集, 114-117, (1984).
- 20) 清水宣雄, 小林一敏, 榊原 潔: ハンドボールにおける投動作の力学的考察, 東京体育学研究, 11: 63-64, (1984).
- 21) Stephen, P. M. and M. G. Owen: Bat dynamics of female fast pitch softball batter. *Res. Quart.* 55(2): 141-145, (1984).
- 22) 豊島進太郎, 渡辺 融, 古屋嘉那, 高島レイ, 吉武敦磨, 山本隆久: ハンドボールにおける投球動作の分析. 体育学研究, 10(2): p. 446, (1965).
- 23) 豊島進太郎: ボール投げと体幹のひねり. 体育の科学, 30: 478-482, (1980).
- 24) 豊島進太郎, 星川 保, 松井秀治: 女子の投動作から“よい投動作”の基準を探る. 第7回日本バイオメカニクス学会大会論集, 102-108, (1984).
- 25) Wickstrom, R. L.: Developmental kinesiology; Maturation of basic motor pattern. In, J. H. Wilmore and J. F. Keogh (Eds.), Exercise and Sports Science Review. 3: 163-192, Academic Press, New York.
- 26) 山下 武: ハンドボールにおける投げの分析について. 体育学研究, 13(2): p. 147, (1968).
- 27) 吉福康郎: 投げる—物体にパワーを注入する. *Jap. J. Sports. Sci.*, 1(2): 85-90, (1982).